

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka

Karakteristik suatu material sangat penting untuk diketahui dalam pembuatan suatu produk. Bab dua ini akan dijelaskan dan dijabarkan beberapa penelitian terdahulu untuk mengetahui kekurangan dan kendala pada penelitian yang sudah ada. Hal ini akan berguna untuk menentukan langkah selanjutnya yang harus dilakukan pada penelitian ini. Bab dua ini juga menjelaskan penelitian sekarang yang akan dilakukan serta dasar teori yang mendukung penelitian ini.

2.1.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian tentang *insole* sepatu *orthotic* sudah cukup banyak dilakukan oleh beberapa peneliti. Pada artikel mengenai “*determining optimal toolpath strategy in the manufacture of orthotic insole shoe made from EVA foam rubber for diabetes patients*” menurut Anggoro dan Bawono (2016) pasien dengan penyakit diabetes memiliki postur kaki yang harus dibantu dengan sepatu khusus yaitu mendesain *insole* sepatu yang terbuat dari *EVA rubber*.

Penelitian yang dilakukan oleh Levinger dkk (2010) tentang “*a comparison of foot kinematics in people with normal and flat arched feet using the oxford foot model*”, membahas bahwa terdapat perbedaan model kaki antara orang normal dengan orang berkaki datar menggunakan *OFM* (*Oxford Foot Model*). Bentuk kaki didokumentasikan dengan protokol *skrining* kaki dan berat tubuh. Hasil penelitian ini mengatakan bahwa kaki datar telah mengubah gerak yang berhubungan dengan pronasi yang lebih besar selama proses berjalan. Hal ini dapat meningkatkan risiko cedera berlebihan.

Penelitian yang dilakukan oleh Kothari dkk (2016) tentang “*are flexible flat feet associated with proximal joint problems in children?*” menyebutkan bahwa banyak anak-anak yang menderita kelainan kaki yaitu *flat feet* atau kaki datar. Kothari menyelidiki hubungan postur kaki dengan sendi proksimal menggunakan *AHI* (*Arch Height Index*). Postur kaki datar secara bersamaan mempengaruhi posisi pinggul dan lutut. Anak-anak dengan postur kaki yang lebih datar cenderung memiliki rasa sakit atau ketidaknyamanan pada lutut, pinggul dan punggung. Kothari pada penelitiannya tidak menggunakan *insole* sepatu *orthotic*

tetapi menggunakan 3DGA untuk menemukan variable kinematik dan kinetik yang nantinya berhubungan dengan *arch height*. Kothari menegaskan bahwa pengobatan sulit dilakukan untuk kaki datar sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut.

Penelitian juga dilakukan oleh Kanatl dkk (2016) tentang “*do corrective shoes improve the development of the medial longitudinal arch in children with flexible flat feet*” dia membahas bahwa belum ada strategi standart untuk pengelolaan anak-anak yang mengalami *flat feet*. Pada penelitian ini, Ulunay ingin mengevaluasi apakah sepatu *orthotic* mempengaruhi *medial longitudinal arch* yang sedang berkembang pada anak-anak. Ulunay menggunakan dua kelompok anak-anak dimana kelompok pertama diobati dengan menggunakan sepatu korektif sedangkan kelompok kedua tidak diobati. Hasil dari penelitian yang telah dilakukan Ulunay adalah tidak terjadi perubahan yang signifikan pada kelompok pertama. Ulunay menegaskan bahwa sepatu korektif untuk penderita *flat feet* tidak efektif dalam pengembalian lengkungan kaki.

Penelitian dilakukan oleh Pauk dan Ezerskiy (2011) tentang “*the effect of foot orthotic on arch height: prediction of arch height correction in flat foot children*” membahas tentang perubahan bentuk kaki setelah menggunakan *foot orthotic* pada anak berkaki datar. Setelah dua tahun penggunaan *foot orthotic*, tidak terjadi perubahan signifikan pada penderita *flat feet*. Pauk juga menegaskan bahwa anak-anak berkaki datar terutama yang berusia tujuh tahun sampai lima belas tahun sangat membutuhkan koreksi. Pada penelitian ini, Pauk tidak menggunakan teknologi untuk mengukur tinggi lengkungan pada kaki tetapi menggunakan model sederhana. Terdapat hubungan antara peningkatan massa tubuh dengan penurunan tinggi lengkungan kaki. Penelitian ini sudah mencoba menggunakan sebuah media yaitu *foot orthotic wedging*, tetapi belum sampai pada tahap merancang sebuah sepatu dengan *insole*.

Penelitian dilakukan oleh Kim dkk (2004) tentang “*physical properties of ethylene vinyl acetate copolymer (EVA) / Natural Rubber (NR) blend based foam*” membahas bahwa *EVA* termasuk *natural rubber* digunakan untuk banyak tujuan misalnya *midsole*, *layer* antara *insole* dan *outsole* pada sepatu lari. Kim juga menyelidiki pengaruh dari suhu pembuatan dan komposisi campuran terhadap kepadatan, ketahanan *rebound*, kekuatan tarik, kekuatan sobek dan struktur sel

busa. Kim menggunakan gravimeter untuk mengukur massa jenis (*density*) dan menggunakan *UTM* dengan standart *ASTM* untuk mengetahui kekuatan tarik.

Penelitian dilakukan oleh Cheung dan Zhang (2006) tentang "*finite element modeling of the human foot and footwear*" membahas material yang digunakan untuk *foot orthotic* adalah bersifat *hyperfoam*. Penelitian ini menggunakan beberapa material untuk kelainan kaki yaitu Nora_SLW, Nora_SL dan Nora_AL. Setiap material tersebut sudah memiliki beberapa nilai karakteristik yaitu nilai tegangan, nilai regangan dan nilai kekerasan. Nora adalah *close-cell EVA foam* yang memiliki berbagai massa jenis dan kekakuan untuk digunakan sebagai *insole*, *midsole* dan *outsole* pada sepatu. Pengukuran nilai kekerasan material tersebut menggunakan durometer tipe *shore A*. Nilai kekerasan yang diperoleh untuk material Nora_SLW, Nora_SL dan Nora_AL berturut-turut adalah 30, 40, dan 50.

Penelitian dilakukan oleh Zhai dkk (2016) tentang "*effects of orthotic insoles on adults with flexible flatfoot under different walking conditions*" bahwa orang dewasa yang memiliki kelainan kaki membutuhkan perlakuan khusus. Waktu penggunaan *insole orthotic* pada penelitian ini adalah selama tiga bulan. Setelah perlakuan tersebut, kesimpulannya adalah *insole orthotic* dapat memperbaiki tekanan plantar pada *flatfoot* dan mengurangi rasa sakit.

Berdasarkan penelitian terdahulu dapat dilihat bahwa kelainan kaki yang dibiarkan begitu saja dapat mengakibatkan cedera yang lebih serius. Hal ini menjadi salah satu permasalahan awal yang harus diselesaikan karena para penderita kelainan kaki membutuhkan solusi berupa *insole* sepatu yang cocok dengan bentuk kaki untuk mengurangi terjadinya pronasi. Penelitian Pauk dan Ezerskiy (2011) sudah mencoba menggunakan sebuah media yaitu *foot orthotic wedging*, tetapi belum sampai pada tahap merancang sebuah sepatu dengan *insole* yang dapat memberikan kenyamanan dan gampang untuk digunakan saat beraktivitas sehari-hari bagi sipengguna. Berdasarkan kemajuan dari penelitian di atas, hal ini menjadi sebuah kesempatan untuk membuat *insole* sepatu *orthotic* dengan dukungan dari sebuah penelitian yang telah dilakukan Zhai. *Insole* sepatu *orthotic* yang sesuai dengan bentuk profil kaki pasien dapat dibuat apabila karakteristik bahan dari sebuah *insole* diketahui. Maka pada penelitian ini, nilai karakteristik dari *insole* yang cocok digunakan sebagai *insole* sepatu *orthotic* akan dicari.

2.1.2 Penelitian Sekarang

Berdasarkan penelitian terdahulu, dapat disimpulkan bahwa kelainan kaki dapat berpengaruh pada tingkat pronasi yang lebih tinggi dan ketidaknyamanan pada lutut, pinggul. Kelainan kaki membutuhkan koreksi yang lebih agar mengurangi cedera berlebihan pada kaki. Penelitian yang sudah dilakukan hanya melakukan analisis yang menjelaskan bahwa orang-orang yang memiliki masalah dengan bentuk kaki (kelainan kaki) seperti *flat feet* membutuhkan sepatu khusus untuk memperbaiki bentuk sehingga nyaman saat digunakan. Sepatu khusus untuk pasien kelainan kaki harus memiliki *insole* dengan karakteristik yang sesuai maka akan ditemukan karakteristik yang paling sesuai untuk digunakan sebagai *insole* sepatu *orthotic*.

Penelitian yang sudah ada belum bisa direalisasikan menjadi sebuah produk nyata yang efektif ketika digunakan oleh penderita kelainan kaki. Hal ini terjadi karena belum ditemukan karakteristik dari setiap *EVA rubber foam* berupa nilai kekerasan, tegangan, regangan, modulus elastisitas dan massa jenis berdasarkan hasil penelitian. Hasil inilah yang nantinya akan dijadikan parameter awal untuk penelitian selanjutnya dan dapat menentukan jenis *EVA rubber foam* mana yang baik digunakan sebagai *insole* sepatu *orthotic*. Penelitian ini menggunakan dua jenis mesin utama yaitu mesin *UTM* dan mesin *asker rubber hardness tester*. Mesin *UTM* digunakan untuk mendapatkan karakteristik *EVA rubber foam* berupa nilai tegangan dan regangan. Sementara itu, mesin *asker rubber hardness tester* digunakan untuk mendapatkan karakteristik *EVA rubber foam* berupa nilai kekerasan.

2.2. Dasar Teori

Pengetahuan akan sifat bahan menjadi sangat penting karena suatu bahan dalam penggunaannya mengalami banyak gaya. Gaya suatu bahan seringkali dialami karena adanya beban yang bekerja pada bahan tersebut. Beban-beban tersebut dapat berupa beban tarik, beban tekan, beban puntir, dan lain-lain. Untuk dapat mengetahui sifat dan kekuatan suatu bahan dapat dilakukan dengan pengujian terhadap bahan tersebut. Pengetahuan mengenai sifat maupun kekuatan bahan yang didapat diharapkan dapat menjadi dasar atau pertimbangan dalam memilih bahan.

2.2.1 *Insole Sepatu Orthotic*

Zhang (2004) menyebutkan bahwa *rubber* merupakan senyawa *macromolecular* yang terdiri dari banyak *macromolecul*. Setiap *macromolecul* adalah rantai *macromolecular* yang sangat panjang yang dibentuk dari sejumlah unit struktur kimia yang terikat oleh ikatan kovalen. Sebagai contoh, sebuah rantai molekul karet alam terdiri dari sekitar 1000 sampai 5000 unit struktur kimia *isoprena*. Salah satu material utama yang sering digunakan dalam kehidupan sehari-hari adalah *Silicon Rubber* dan *Eva Rubber*. Contoh penggunaannya yaitu dalam pembuatan sepatu pada bagian telapak sepatu (*insole*). *Insole* sepatu *orthotic* merupakan salah satu alat bantu untuk mengoreksi menyelesaikan permasalahan kaki pada penderita kelainan kaki (Ivanic, 2003). *Insole* sepatu *orthotic* yang baik adalah sesuai dengan kontur dan *relief* telapak kaki penderita.

Artikel yang dibahas oleh Anggoro et al, *insole* sepatu *orthotic* adalah perangkat *insole* yaitu bagian dari alas sepatu bagian dalam yang dirancang untuk memperbaiki fungsi kaki yang mengalami kelainan. Perangkat ini digunakan untuk mengatasi keluhan ketidaknyamanan yang terjadi pada setiap orang ketika sedang melakukan aktivitas berjalan, olah raga, dan berlari. Menurut Bahtiar (2015), *orthotic insole* lunak membantu menipiskan *shock*, meningkatkan keseimbangan dan mengambil beban tidak nyaman. *Orthotic insole* ini biasanya terbuat dari bahan yang lembut, bahan kompresibel seperti *EVA* bahan ini memiliki nilai-nilai kekerasan yang berbeda. Jenis *orthotic* efektif untuk kelainan bentuk kaki dimana terdapat kehilangan jaringan lemak pelindung di sisi kaki. Mereka juga sangat membantu bagi penderita diabetes.

Rubber yang baik untuk penggunaan spesifik harus memiliki kriteria dan karakteristik yang memenuhinya. Beberapa kriteria yang digunakan untuk keperluan sehari-hari ini yaitu kekuatan, ketahanan, dan kekuatan uji tarik material. Pengetahuan tentang karakteristik *Eva Rubber* sebagai *raw material* utama *insole* ini dapat digunakan untuk penelitian selanjutnya yang membahas tentang sepatu *orthotic*. Pada artikel yang dibahas oleh Bayu Bawono dalam "Pengaruh Variasi Kekerasan, Kekasaran Permukaan, dan Tebal Lapisan Material *Insole* Sepatu *Orthotic* Terhadap Tingkat Kenyamanan Optimal", berfokus pada permasalahan pengaruh faktor-faktor yang berhubungan dengan tingkat kenyamanan yang optimal. Penelitiannya, menunjukkan bahwa hubungan

yang sangat signifikan antara kekerasan material, tebal lapisan material *EVA rubber foam*, dan kekasaran permukaan dari *insole* sepatu *orthotic*.

2.2.2 Uji Tarik

Uji Tarik adalah suatu metode yang digunakan untuk menguji kekuatan suatu bahan/ material dengan cara memberikan beban gaya satu arah (Askeland, 1985). Uji tarik merupakan cara pengujian bahan yang paling mendasar. Dengan menarik suatu material kita akan segera mengetahui bagaimana material tersebut bereaksi terhadap tenaga tarikan dan mengetahui sejauh mana material itu bertambah panjang. Alat eksperimen untuk uji tarik ini harus memiliki cengkeraman (*grip*) yang kuat dan kekakuan yang tinggi (*highly stiff*).

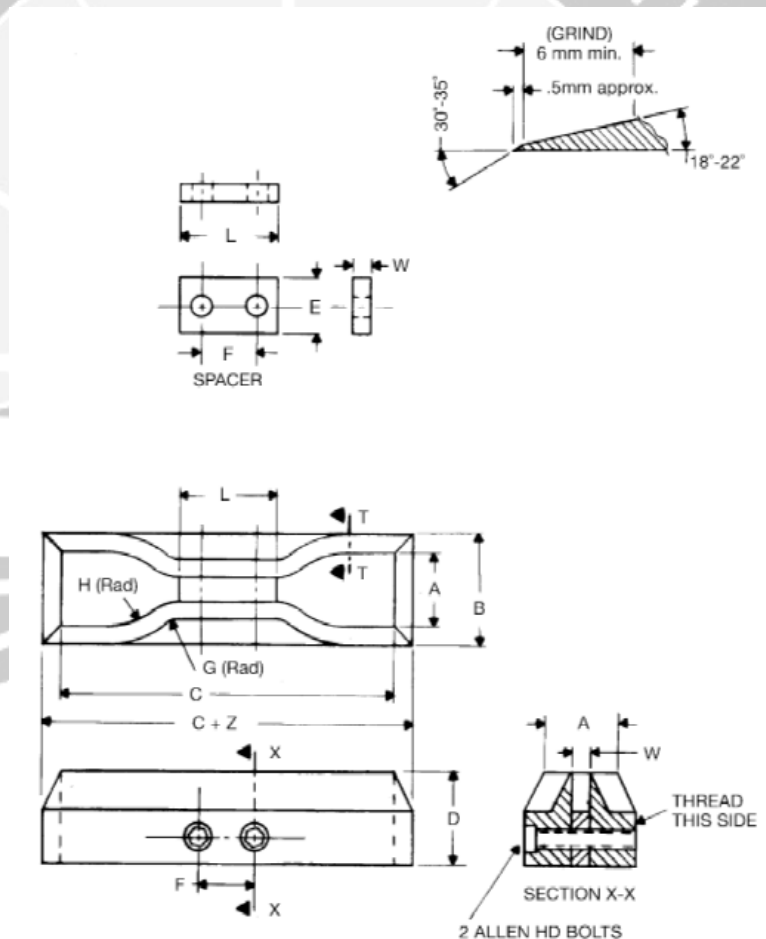
Salah satu alat yang dapat digunakan untuk pengujian tarik adalah mesin *UTM*. Mesin *UTM* ini ada yang sudah terkoneksi dengan komputer ada juga yang belum. Mesin yang sudah terkoneksi dengan komputer akan merekam deformasi dan secara otomatis akan memproses data dan hasil grafik sedangkan mesin yang manual membutuhkan bantuan manusia untuk membaca dan mencatat data yang dihasilkan.

Prosedur pengujian uji tarik untuk material *rubber* sesuai dengan *ASTM D412* tahun 2004 adalah sebagai berikut:

- a. Spesimen uji dibentuk menjadi bentuk lembaran tidak kurang dari 1,3 mm dan tidak lebih dari 3,3 mm atau disebut sebagai *dumbbell*.
- b. *Dumbbell* diberi garis tepat ditengah lalu memberi garis di setiap 2 cm pada bagian tengah *dumbbell*.
- c. *Dumbbell* ditempatkan pada genggamannya mesin *UTM*, sebisa mungkin spesimen harus simetris untuk mendistribusikan tegangan secara merata pada penampang spesimen. Hal ini bertujuan untuk menghindari komplikasi yang dapat mencegah kekuatan maksimum material.
- d. Mesin *UTM* dinyalakan dengan menekan tombol "ON" lalu menekan tombol "area start"
- e. Luas area *dumbbell* diinput pada mesin lalu mengatur tingkat pemutusan grip sebesar 50 ± 5 mm/min.
- f. Tombol "up" ditekan maka grip bagian atas akan menarik *dumbbell* secara perlahan hingga putus. Setiap kenaikan 5 mm, hasil tegangan pada layar dibaca.

- g. Gaya pada pertambahan panjang (*elongasi*) saat pengujian dan saat putus dibaca.
- h. Setelah *dumbbell* putus, *dumbbell* dilepaskan dari *grip* lalu menekan tombol “*down*” sampai *grip* kembali pada posisi semula.
- i. Tombol “*zero*” ditekan untuk menghapus hasil terakhir dari pengujian sebelumnya.
- j. Mengulangi langkah ini sampai seluruh *dumbbell* selesai.

Pembuatan *dumbbell* juga berdasarkan standart yang tertulis pada ASTM D412 tahun 2004. Ukuran *dumbbell* juga sudah disediakan, ada beberapa jenis ukuran untuk membuat *dumbbell*. Gambar di bawah ini merupakan gambar tiga dimensi *dumbbell* beserta ukurannya.



Gambar 2.1. Dumbbell Spesimen

Sumber: ASTM 2004 Part II B Volume 09.01

Tabel 2.1. Dimensi *Dumbbell Spesimen*

| Dimensi | Satuan | Toleransi | Die A | Die B | Die C | Die D | Die E | Die F |
|---------|--------|-----------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| A | mm | ±1 | 25 | 25 | 25 | 16 | 16 | 16 |
| B | mm | Max | 40 | 40 | 40 | 30 | 30 | 30 |
| C | mm | Min | 140 | 140 | 115 | 100 | 125 | 125 |
| D | mm | ±6B | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 | 32 |
| D-E | mm | ±1 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 |
| F | mm | ±2 | 38 | 38 | 19 | 19 | 38 | 38 |
| G | mm | ±1 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 | 14 |
| H | mm | ±2 | 25 | 25 | 25 | 16 | 16 | 16 |
| L | mm | ±2 | 59 | 59 | 33 | 33 | 59 | 59 |
| W | mm | ±0,05,- 0,00 | 12 | 6 | 6 | 3 | 3 | 6 |
| Z | mm | ±1 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 | 13 |

Sumber: *ASTM D412-98a 2004 Part II B Volume 09.01*

2.2.3 Uji Kekerasan

Uji kekerasan merupakan pengujian yang efektif untuk mengetahui gambaran sifat mekanis suatu material. Meskipun pengukuran hanya dilakukan pada daerah/ titik tertentu, nilai kekerasan cukup valid untuk menyatakan kekuatan suatu material. Kekerasan suatu material harus diketahui khususnya untuk material yang dalam penggunaannya akan mengalami gesekan.

Berikut ini merupakan langkah-langkah untuk uji kekerasan *rubber* sesuai dengan *ASTM D 2240* tahun 2004:

- Mesin *asker rubber hardness tester* dirakit sesuai petunjuk dan ketentuan.
- Skala pengujian yang hendak digunakan ditentukan terlebih dahulu kemudian indenter dipasang sesuai skala pengujian yang digunakan. Pemasangan diusahakan tegak lurus.
- Bahan uji diletakkan pada landasan alat uji.
- Ujung indenter didekatkan hingga hampir menyentuh permukaan bahan uji, kemudian mengunci indenter dan memastikan tidak turun.
- Beban tekan dipasang sesuai skala pengujian.
- Indenter diturunkan dengan menggerakkan tuas searah jarum jam.
- Skala yang ditunjukkan oleh jarum penunjuk dibaca.

2.2.4 Pengukuran Massa Jenis

Massa jenis atau densitas adalah suatu besaran kerapatan massa benda yang dinyatakan dalam berat persatuan volume benda tersebut. Besaran massa jenis dapat membantu menerangkan mengapa benda yang berukuran sama memiliki berat yang berbeda. Benda yang lebih besar belum tentu lebih berat daripada benda yang lebih kecil.

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (1)$$

ρ = massa jenis (kg/m^3)

m = berat benda (kg)

v = volume benda (m^3)

2.2.5 Tegangan, Regangan, Modulus Elastisitas

Menurut Putuhena (2011) pada jurnalnya, elastis adalah bahan yang mudah diregangkan serta cenderung pulih ke keadaan semula, dengan mengenakan gaya reaksi elastisitas atas gaya tegangan yang meregangkannya. Pada dasarnya semua bahan memiliki sifat elastis meskipun amat sukar diregangkan. Sifat elastik adalah kemampuan benda untuk kembali ke bentuk awalnya segera setelah gaya luar yang diberikan benda itu dihilangkan. Elastisitas adalah sifat benda yang berdeformasi untuk sementara, tanpa perubahan yang permanen, yaitu sifat untuk melawan deformasi yang terjadi. Sebuah benda dikatakan elastis sempurna jika setelah gaya penyebab perubahan bentuk dihilangkan benda akan kembali ke bentuk semula. Sekalipun tidak terdapat benda yang elastik sempurna, tetapi banyak benda yang hampir elastik sempurna, yaitu sampai deformasi yang terbatas disebut limit elastik. Jika benda berdeformasi di atas limit elastiknya, dan apabila gaya-gaya dihilangkan maka benda tersebut tidak lagi kembali ke bentuk semula. Sebenarnya perbedaan antara sifat elastik dan plastik, hanyalah terletak pada tingkatan dalam besar atau kecilnya deformasi yang terjadi.

a. Tegangan (*stress*)

Semua bahan berubah bentuk karena pengaruh gaya. Ada yang kembali ke bentuk aslinya bila gaya dihilangkan, ada pula yang tetap berubah bentuk sedikit atau banyak. Deformasi bahan ditentukan oleh gaya per satuan luas dan bukan oleh gaya total. Jika sebuah batang tegar yang dipengaruhi gaya tarik F kekanan dan gaya yang sama tetapi berlawanan arah ke kiri maka gaya-gaya ini akan didistribusi secara *uniform* keluas penampang batang. Perbandingan gaya F

terhadap luas penampang A dinamakan tegangan tarik. Perpotongan dapat dilakukan disembarang titik sepanjang batang maka seluruh batang dalam keadaan mengalami tegangan (*stress*) ditulis berikut:

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2)$$

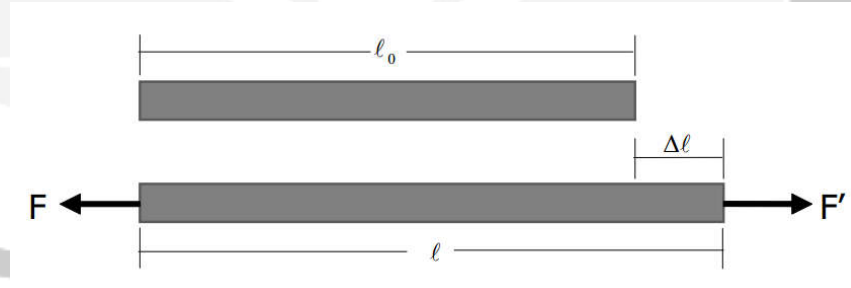
σ = tegangan tarik (N/m²)

F = gaya (N)

A = luas permukaan (m²)

b. Regangan (*strain*)

Perubahan pada ukuran sebuah benda karena gaya-gaya dalam kesetimbangan dibandingkan dengan ukuran semula disebut regangan (Callister dan Wiley, 2006). Regangan juga disebut derajat deformasi. Kata regangan berhubungan dengan perubahan relatif dalam dimensi atau bentuk suatu benda yang mendapat tekanan. Gambar 2.2. melukiskan suatu batang yang panjang normalnya ℓ_0 dan memanjang menjadi $\ell = \ell_0 + \Delta\ell$ bila pada kedua ujungnya ditarik oleh gaya F . Pertambahan panjang $\Delta\ell$, tentu saja tidak hanya pada ujung-ujung saja. Setiap elemen-elemen batang tertarik pada proporsi yang sama seperti batang seluruhnya.



Gambar 2.2. Pertambahan Panjang Batang

Ada tiga macam regangan yaitu regangan tarik, regangan kompresi, dan regangan geser. Regangan tarik pada batang didefinisikan sebagai perbandingan antara pertambahan panjang dengan panjang semula, yang harganya lebih besar dari 0. Regangan tekan suatu batang yang ditekan didefinisikan dengan cara yang sama sebagai pembanding antara berkurangnya panjang batang dengan panjang semula yang harganya lebih kecil dari 0. Jadi perubahan pembanding pada panjang batang $\Delta\ell / \ell_0$ dinamakan regangan (Blatt, 1986:183) seperti ditulis berikut:

$$\varepsilon = \frac{\ell - \ell_0}{\ell_0} = \frac{\Delta \ell}{\ell_0} \quad (3)$$

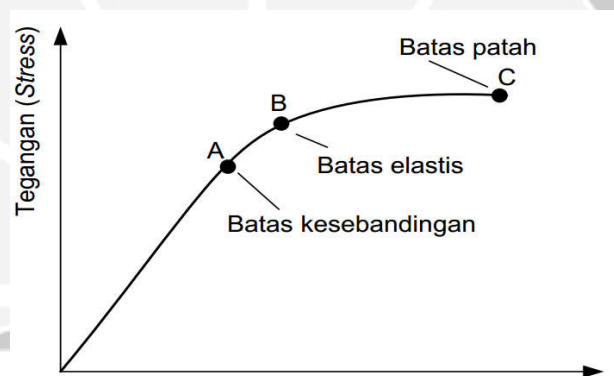
ε = regangan

ℓ = panjang batang (m)

ℓ_0 = panjang semula (m)

$\Delta \ell$ = perubahan panjang (m).

Gambar 2.3. menunjukkan grafik tegangan dan regangan untuk batang padat biasa. Grafik tersebut linier sampai titik A. Hasil bahwa regangan berubah secara linier dengan tegangan dikenal sebagai hukum Hooke. Titik B adalah batas elastik. Jika batang ditarik melampaui titik ini batang tidak akan kembali kepanjangnya semula, tetapi berubah bentuk secara tetap. Jika tegangan yang bahkan lebih besar diberikan, bahan akhirnya patah. Seperti ditunjukkan oleh titik C.



Gambar 2.3. Grafik Proses Tegangan

Di dalam daerah linier dari grafik tegangan regangan untuk tarikan atau tekanan (kompresi), kemiringan menyamai nilai banding tegangan terhadap regangan yang dinamakan modulus young (modulus elastisitas), Y dari bahan tersebut. Perbandingan tegangan terhadap regangan dalam daerah linier grafik ini disebut juga konstanta karakteristik atau modulus young suatu bahan, ditulis sebagai:

$$Y = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (4)$$